



**ECOLE DES MINES D'ALBI**  
C A R M A U X

**Conception, fabrication et installation de systèmes de  
pompage utilisant l'énergie hydraulique**



**Rapport d'un stage de 3 mois à l'Universidad Técnica Federico  
Santa Maria – Generación de Energías Alternativas**

**UTFSM – GEA**

LORENTE Christophe  
Mai – Août 2005

Tuteur de stage : Gerardo Arrancibia  
Tuteur école : Olivier Louisnard

## **Remerciements**

Je remercie tout d'abord mon tuteur de stage administratif Jaime Espinoza qui m'a permis de réaliser ce stage à l'Université Santa Maria en me mettant en contact avec le GEA.

Je remercie également Gerardo Arrancibia, mon tuteur de stage, responsable du GEA, pour m'avoir accepté avec lui et aidé durant toute la durée de mon stage. Il m'a fait confiance en me laissant libre pour la conception et la fabrication du moulin hydraulique. Il m'a aussi permis d'avoir mon espace de travail, avec l'accès au bureau et donc à un ordinateur connecté à Internet quand je le voulais.

Je remercie enfin Olivier Louisnard, mon tuteur école, qui a la charge de corriger mes rapports sur ce stage au Chili.

## Résumé

# Sommaire

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>LA MISE EN PLACE D'ENERGIES ALTERNATIVES AU CHILI</b> .....	<b>2</b>
<b>LE POMPAGE HYDRAULIQUE</b> .....	<b>4</b>
Comment choisir son équipement .....	5
Mesures des différents paramètres .....	6
Mesures du débit d'eau .....	6
Mesure de la hauteur de chute .....	9
Les différents types de système de pompage .....	11
Estimation de la quantité journalière d'eau pompée : .....	13
<b>AMELIORATION DU SYSTEME DE ROUE HYDRAULIQUE EXISTANT POUR UNE APPLICATION EN ZONE RURALE RECULEE</b> .....	<b>16</b>
Un système simple et rustique adaptée au chute d'eau faibles .....	17
• Les roues à aubes ou roues hydrauliques .....	16
Des améliorations pour une roue plus grande et plus facilement transportable .....	19
Conception de la roue hydraulique .....	20
• Application dans la commune (région VII) : .....	20
• Notations : .....	21
• Calculs pour connaître les dimensions des aubes .....	21
<i>Fabrication de la roue hydraulique</i> : .....	24
<i>Aspect économique</i> : .....	31
<b>CONCEPTION D'UN BELIER HYDRAULIQUE</b> .....	<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>48</b>

## **Introduction**

Le Chili, qui s'étend le long de la cordillère des Andes, possède un fort potentiel pour les énergies renouvelables. Les ressources hydrauliques permettent de développer des projets hydrauliques dans les villages éloignés du réseau électrique.

Le GEA tente de permettre l'emploi d'énergies renouvelables dans les campagnes chiliennes comme une alternative à l'utilisation d'énergies polluantes.

L'approvisionnement en pompes hydrauliques est une alternative économique et écologique pour l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable. Nous allons voir dans ce rapport les différentes étapes d'un projet de pompage d'eau dans des villages reculés.

# **La mise en place d'énergies alternatives au Chili**

## ***Rôle du GEA au sein de l'université***

Le GEA fait partie du département mécanique de l'Université Federico Santa Maria à Valparaiso depuis 2000. L'idée est de faire participer des élèves de façon extrascolaire à des projets qui les intéressent dans le domaine des énergies renouvelables.

L'objectif principal du GEA est de développer la recherche en vue de l'application d'énergies renouvelables afin d'améliorer les conditions de vie des gens, et faire naître une conscience environnementale.

Ainsi le GEA participe au développement de projets pour promouvoir les énergies renouvelables au Chili. Le GEA essaye de faire connaître au plus grand nombre certaines solutions à des problèmes qui peuvent facilement être résolus par l'utilisation d'énergies alternatives.

## ***Les actions du GEA***

Dans les zones rurales où le réseau électrique n'est pas présent, il est possible d'utiliser les ressources hydrauliques, solaires ou éoliennes pour produire du courant sans polluer ni dépenser trop d'argent.

Ces énergies peuvent également être utilisées pour le pompage d'eau afin d'irriguer ou simplement alimenter en eau potable des zones dépourvues d'eau courante.



**Ilustración 1 : Irrigation au Chili<sup>1</sup>**

Le GEA a donc participé à des projets pour produire de l'électricité, en utilisant ces trois sources d'énergie. Mais son action ne se limite pas à cela.

L'énergie peut aussi provenir tout simplement du bois, comme cela est souvent fait pour les cuisines dans des milieux ruraux. Souvent les feux de bois sont mal conçus et la fumée s'emmagine dans la maison, c'est pourquoi au sein du GEA un projet de conception de cuisines a bois améliorées a permis la construction de nombreux fours dont la fumée s'échappe hors de la maison.

---

<sup>1</sup> <http://www.mec-gea.utfsm.cl/paginas/bombero%20agua.htm>

## Le pompage hydraulique

Un autre besoin souvent exprimé par des villageois habitant des zones dépourvues d'électricité est le pompage d'eau, pour les habitations et l'irrigation. En effet les moteurs diesel, même s'ils sont peu coûteux à l'achat, consomment beaucoup de carburant, et engendrent une dépendance en carburant.

Le Chili est un pays de montagne, dominé par la Cordillère des Andes qui est le second massif montagneux du monde après l'Himalaya. Le Sud du pays est très pluvieux, très riches en rivières et lacs. Les ressources hydrauliques ne manquent pas, avec des dénivelés importants et de nombreux fleuves.

Dans les cas où une rivière est disponible, et à partir d'une petite dénivellation, on peut envisager de recourir à des systèmes de pompage hydraulique.

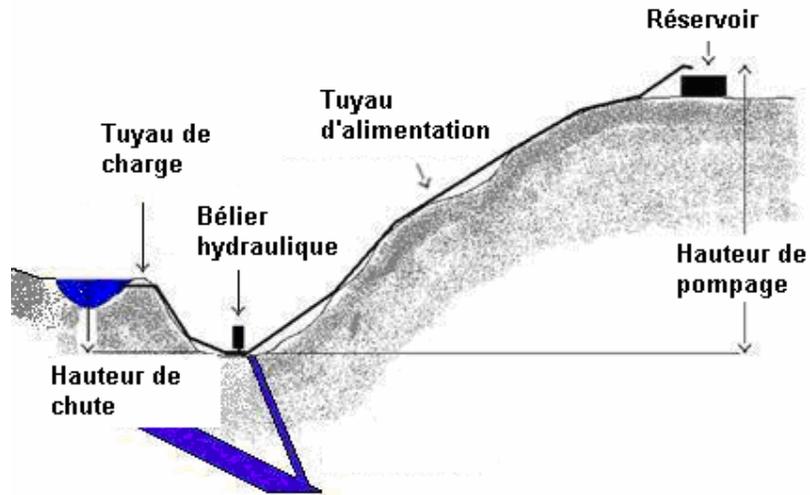
La force qui permet de pomper l'eau peut être fournie par un petit canal, un tuyau ou toute autre forme d'écoulement d'eau assez important avec un saut d'au moins 1,5 mètres.

Fonctionnement du système :

Les équipements utilisés pour pomper l'eau sans utiliser ni électricité ni combustible utilisent l'énergie du rio pour être actionnés.

Généralement, un système de pompage hydraulique est composé des éléments suivants :

- Une déviation de la rivière avec un réservoir d'eau.
- Une tuyauterie de charge
- Le système de pompage
- Une tuyauterie d'alimentation
- Un réservoir d'accumulation



**Illustración 2 : Schéma type d'un système de pompage avec un bélier hydraulique**

On peut voir sur le schéma suivant un schéma classique de pompage hydraulique (exemple d'un bélier hydraulique). L'eau est déviée dans le tuyau de charge, et vient donner son énergie au système hydraulique afin de permettre le pompage de l'eau à des altitudes supérieures.

Les systèmes les plus utilisés et les plus performants sont les béliers hydrauliques, les moulins à eau, et les turbopompes.

### ***Comment choisir son équipement***

Bien évidemment, en fonction de plusieurs paramètres, ces systèmes sont plus ou moins performants. Dans tout projet de pompage il faut tenir compte :

- Du débit d'eau disponible **Q** en l/s
- De la hauteur de chute **h** en mètres
- De la hauteur de pompage en mètres
- De la distance entre le réservoir final et le système de pompage
- De la demande en eau en litres/jour

## ***Mesures des différents paramètres***

Les paramètres influant sur la puissance disponible sont le débit et la hauteur de chute. Il convient donc de réaliser une étude sur le terrain pour les connaître et estimer les possibilités.

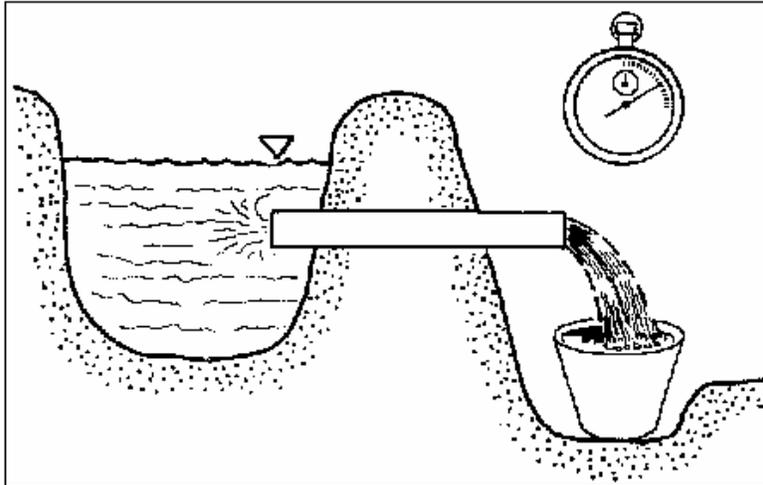
### *Mesures du débit d'eau*

Cette mesure doit être faite de préférence au moment où les ressources hydrauliques sont les plus faibles. La saison des pluies au Chili correspond à l'hiver, c'est-à-dire de Juin à Septembre. Il faudra donc faire les mesures en été vers le moi de Février ou Mars.

L'intérêt est de connaître le débit minimum d'eau disponible, afin de ne pas surdimensionner le système et avoir donc une marge de sécurité.

Pour des débits faibles (inférieurs à 20 litres par seconde, la meilleure façon est de mesurer directement le temps que met l'eau à remplir un récipient de volume connu. Le courant doit être dévié de façon à pouvoir remplir le récipient. Il faut donc chercher un endroit où un simple barrage de pierres peut être fait, ou bien un endroit où naturellement l'eau forme une cascade.

L'opération sera exécutée plusieurs fois pour avoir une meilleure précision. Elle peut être également facilement expliquée à une personne locale qui pourra se charger de répéter l'opération. Ainsi on peut avoir une bonne idée, pour plusieurs périodes différentes, du potentiel hydraulique.



**Ilustración 3 : Mesure directe du débit d'eau**

Techniquement, pour un débit de 4 l/s, on pourra utiliser un seau de 10 litres qui se remplira en 2 ½ secondes. Plus le débit est important, plus le réservoir doit être grand. C'est pourquoi cette méthode n'est pas très pratique pour de forts débits, car on a alors besoin d'un très grand réservoir, ce qui n'est pas forcément facile à transporter ou même trouver.

Pour les débits plus importants, dans des canaux assez étroits, on peut fabriquer une petite retenue d'eau afin d'installer un déversoir.

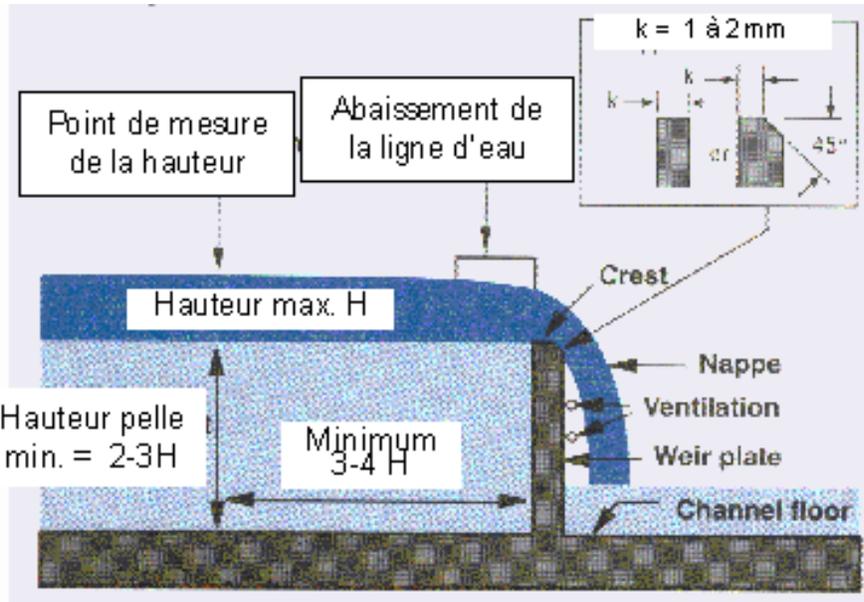


Ilustración 4 : Schéma type d'un déversoir<sup>2</sup>

Le déversoir les plus souvent utilisés sont triangulaires, ou rectangulaires lorsque le débit est plus important. Il faut donc fabriquer un petit barrage, servant à capter l'eau, afin qu'elle s'écoule uniquement par l'ouverture normalisée du déversoir. Ensuite on peut exprimer le débit uniquement en fonction de la hauteur d'eau (mesurée en amont du barrage à une distance minimum de 3 fois la hauteur d'eau).

Des équations permettent de connaître le débit d'eau en fonction de la hauteur d'eau mesurée, en fonction du type d'ouverture. Prenons pour exemple un déversoir en V.

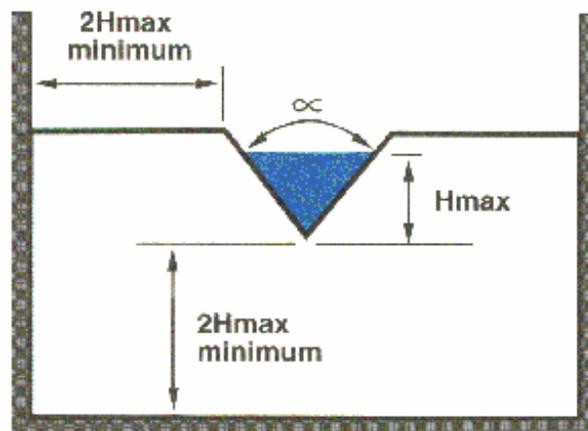


Ilustración 5 : Déversoir en V

<sup>2</sup> [http://www.grese.ch/Art\\_Tech/A\\_mes\\_debit.htm](http://www.grese.ch/Art_Tech/A_mes_debit.htm)

Formule générale pour un déversoir en V<sup>3</sup> :

$$Q = C \frac{8}{15} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{2gh}^{5/2}$$

Avec :        Q le débit en l/s  
              C un coefficient de précision  
              H la hauteur en m

Pour un déversoir en V à 90°, qui est le type de déversoir le plus généralement utilisé, des tables sont disponibles. Alors on peut trouver en fonction de la hauteur en cm le débit en l/s :

$$Q \text{ (l/s)} = 0,014 \cdot H \text{ (cm)}^{2,5}$$

Hauteur (cm)	Débit (l/s)
10	4,4
12	6,9
15	12,2
20	25
30	69
40	140
45	187
50	244

### *Mesure de la hauteur de chute*

Il existe de nombreuses méthodes pour estimer la hauteur de chute. Dans le cas de systèmes pour pomper l'eau, les hauteurs de chute sont généralement assez faibles, et il n'est pas nécessaire d'employer des méthodes

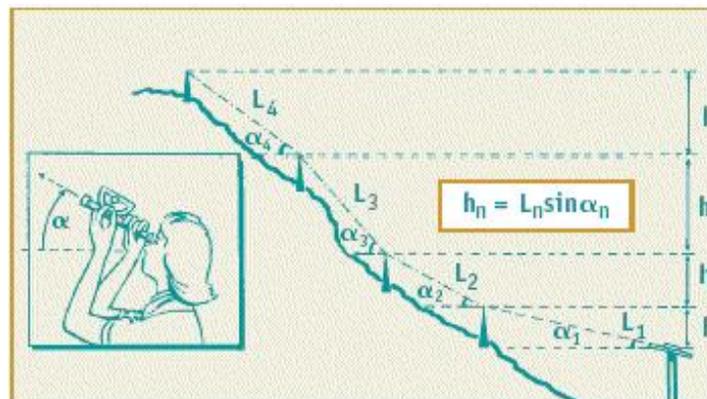
<sup>3</sup> [http://hidraulica.unalmed.edu.co/PARH/Materias/fluidos/toro/g\\_lab2.html](http://hidraulica.unalmed.edu.co/PARH/Materias/fluidos/toro/g_lab2.html)

complexes. Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la hauteur de chute disponible, notamment les cartes, le manomètre, le niveau à lunette fixe et le théodolite, l'inclinomètre, le tube d'eau et la tige, et l'altimètre.

La méthode offrant un bon compromis entre coût et précision est la méthode d'Abney, ou inclinomètre pour des hauteurs importantes (supérieure à 20 mètres), tandis que l'on peut simplement utiliser un tube d'eau ou une tige pour la mesure du saut hydraulique lorsqu'il est faible.

#### Méthode de l'inclinomètre :

Un niveau de poche appelé inclinomètre ou niveau d'Abney, permet de mesurer l'angle d'inclinaison d'une pente. Entre les mains d'un opérateur d'expérience, cet instrument permet d'obtenir une mesure précise, mais il est toujours mieux de prendre une deuxième mesure. L'inclinomètre est un instrument compact qui est parfois équipé d'un télémètre, ce qui évite d'avoir à mesurer la distance linéaire.



**Ilustración 6 : Mesure de la hauteur de chute à l'aide d'un niveau d'Abney**

On peut utiliser cette méthode pour estimer la hauteur à laquelle doit être pompée l'eau, c'est-à-dire la hauteur entre la prise d'eau de la pompe et le réservoir en hauteur qui servira à la stocker.

#### Tube d'eau et tige

Cette méthode convient aux sites à faible hauteur de chute. Elle est fiable, raisonnablement précise et peu coûteuse. On doit prendre deux ou trois mesures distinctes afin de s'assurer que les résultats sont uniformes et fiables. Les résultats obtenus au moyen de cette méthode doivent être comparés à ceux obtenus à l'aide d'une autre méthode pour une hauteur supérieure à 10 mètres. Si la pente est abrupte, on peut utiliser un niveau à bulle et une planche de bois droite à la place d'un tube d'eau et d'une tige.

### **Les différents types de système de pompage**

Une fois les mesures effectuées, on peut connaître le potentiel du site, et déterminer quel type de pompe utiliser : Pour tous les systèmes hydrauliques, les deux paramètres en jeu pour savoir le potentiel sont la hauteur de chute (**h**) et le débit disponible (**Q**).

La puissance hydraulique est donnée par la formule suivante :

$$P_h = h \times Q \times g$$

Avec :

- P<sub>h</sub>** Puissance hydraulique disponible [kW].
- h** Hauteur de chute [m].
- Q** Débit [m<sup>3</sup>/s].
- g** Accélération de la pesanteur = 9.8 [m/s<sup>2</sup>]

Les pompes ont des applications différentes, et 3 systèmes ont été utilisés par le GEA. On peut voir sur le tableau ci-dessous les conditions générales d'utilisation de ces 3 systèmes selon le débit et les différentes hauteurs.

**Tabla 1 : Conditions d'utilisation des systèmes de pompage hydraulique**

Modèle	Hauteur de chute(mètres)	Débit minimum (litres/minute)	Hauteur de pompage (mètres)
Bélier 1 ½ pouce	1-20	20	70
Pompe-moulin	0.5-2.5	120	200
Turbo-pompe	8-30	300	200

### Bélier hydraulique :

Les systèmes développés par le GEA sont de 1,5 et 3 pouces pour le diamètre du tube d'entrée. Le bélier hydraulique (« bomba de ariete » en espagnol) est particulièrement adapté aux faibles débits, et aux faibles hauteurs de chute. Nous verrons dans la suite du rapport en détail quel est son fonctionnement, et les innovations apportés au système.

Ce système est très intéressant car il est peu coûteux et rustique. Cependant il a une limite de hauteur de pompage aux alentours de 70 mètres, ce qui empêche son utilisation pour pomper l'eau au-delà.

### **Conditions optimales d'utilisation :**

Modèle	Saut hydraulique (mètres)	Débit de fonctionnement (litres/seconde)
1 ½ "	De 1 à 10	0,35
3"	De 1 à 20	1



**Ilustración 7 : Bélier hydraulique conçu par le GEA**

### La pompe-moulin ou roue hydraulique

C'est un système rustique ressemblant à un moulin (« rio-bomba » en espagnol), dans lequel une roue actionne une pompe à piston. Ce système peut fonctionner avec un faible débit, et amener l'eau très haut, jusqu'à 200 mètres au dessus de la zone de pompage. Son avantage principal est de nécessiter un très faible saut hydraulique, puisque 1 à 2,5 mètres suffisent pour le faire fonctionner.

Nous verrons toutes les étapes de sa conception, fabrication, tests et installation dans ce rapport.

La turbo-pompe :

Elle consiste en une pompe centrifuge, fonctionnant en sens inverse. L'eau permet de faire tourner l'axe de la pompe, relié à une pompe à piston qui pousse l'eau jusqu'à 200 mètres d'altitude.

Ce système est approprié pour une hauteur de chute élevée puisqu'il a besoin d'au moins 8 mètres pour fonctionner, et peut utiliser des débits élevés. Il ne demande pas une fabrication très complexe de la part du GEA mais seulement de bien choisir les deux pompes qui seront utilisées. Nous ne verrons pas plus en détail ce système.



**Ilustración 8 : Turbo pompe réalisée par le GEA**

**Conditions optimales d'utilisation**

Saut hydraulique (mètres)	Débit de fonctionnement (litres/seconde)
De 8 a 30	5 a 30

*Estimation de la quantité journalière d'eau pompée :*

Le volume d'eau pompée est généralement exprimé en litres par jour, afin que les personnes se rendent compte plus facilement de ce que cela représente par rapport à leur besoin. Lorsque ces systèmes servent pour l'irrigation, il est facile de savoir combien d'eau par jour est utilisée pour arroser les plantations.

La quantité d'eau pompée est évidemment directement liée à la puissance disponible pour le système, ainsi qu'à son rendement. De plus il faut tenir compte de la hauteur à laquelle on veut pomper l'eau. La puissance disponible est directement utilisée pour élever l'eau, on a donc égalité entre la puissance disponible pour élever l'eau et celle fournie par le saut d'eau  $h$  :

$$9.81.Q_{eau} .h .\eta_{système} = Ph. = 9.81.H.Q_{pompée}$$

- Avec :
- Q<sub>eau</sub>** le volume journalier d'eau pompée [l/s]
  - P<sub>h</sub>** la puissance hydraulique disponible [W]
  - H** la hauteur de pompage [m]
  - h** le saut d'eau disponible [m]

On en tire aisément la formule suivante pour connaître le volume journalier d'eau pompée  $V_j$  [en litres/jour]:

$$V_j = 24_{(heures)} \cdot 3600_{(secondes)} \cdot \frac{Q.h.\eta}{H}$$

- Avec :  $\eta$  le rendement du système

Modèle	Rendement
Bélier 1 ½ pouce	20 – 25 %
Pompe-moulin	30 %
Turbo-pompe	50 %

On peut alors savoir si le potentiel hydraulique est suffisant par rapport au besoin, et choisir le modèle le plus adapté.

## Amélioration du système de roue hydraulique existant pour une application en zone rurale reculée

- *Les roues à aubes ou roues hydrauliques*

L'idée de transformer en énergie mécanique utilisable l'énergie contenue dans l'eau des rivières sous forme cinétique et sous forme potentielle est très ancienne. L'idée est loin d'être révolutionnaire, mais l'utilisation de cette technique peut trouver de très bonnes applications aujourd'hui encore.

Les roues hydrauliques à axe horizontal sont classées en trois types:

- la roue "en dessus" qui reçoit l'eau à sa partie supérieure
- la roue "de poitrine" ou de côté de type intermédiaire
- la roue "en dessous" ou "au fil "

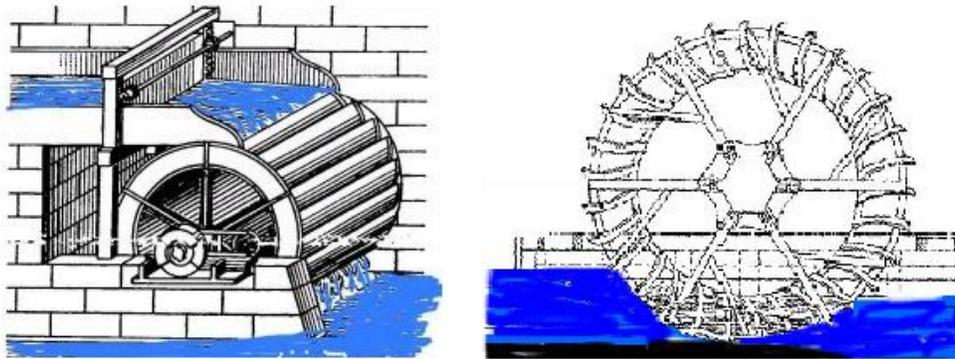


Ilustración 9 : Roue en dessus (à gauche) et roue au fil<sup>4</sup>

La machine hydraulique idéale doit satisfaire à deux principes:

- l'eau doit toujours pénétrer dans la machine sans produire de choc;
- l'eau doit avoir perdu, au cours de sa traversée de la machine, la vitesse initiale qu'elle possédait à l'entrée.

---

4

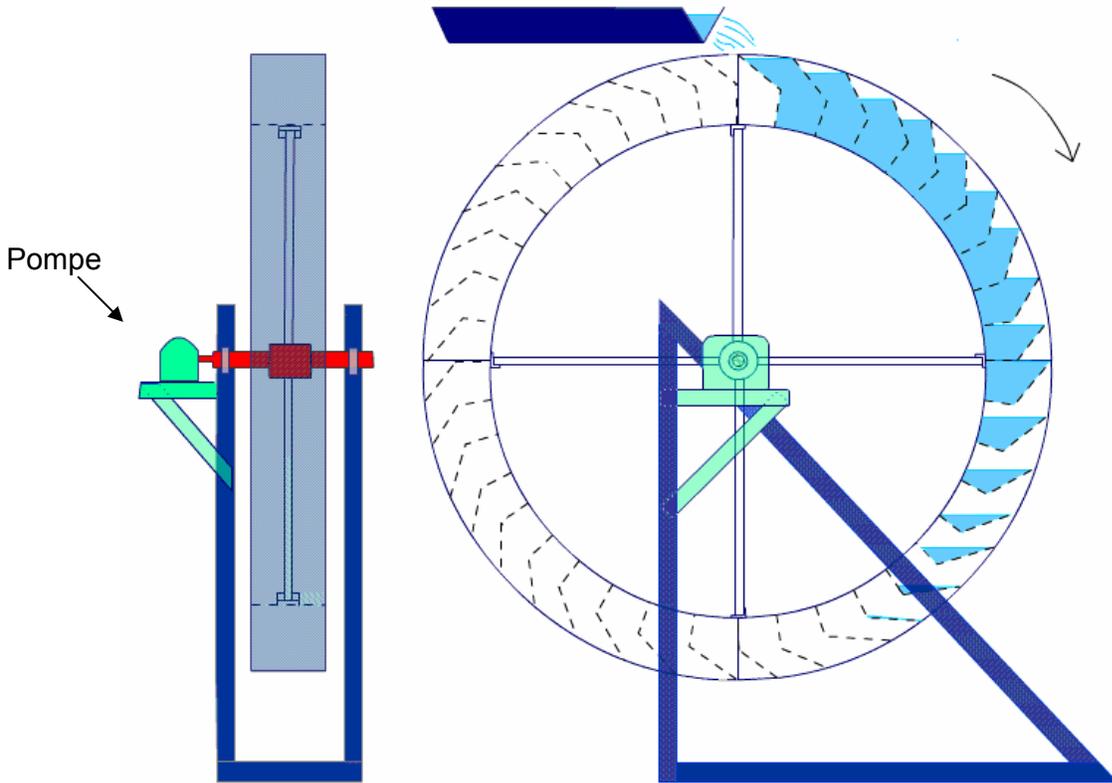
<http://clients.newel.net/particulier/amader/docusim.htm#LES%20ROUES%20HYDRAULIQUES>

Ces deux conditions doivent être satisfaites pour qu'il n'y ait pas de perte d'énergie sous forme de turbulence, ou sous forme d'énergie cinétique résiduelle. Malheureusement, une bonne partie de l'énergie de la chute est perdue en raison de l'alimentation de la roue par un conduit ouvert.

*Un système simple et rustique adaptée au chute d'eau faibles*

Les systèmes de pompage appelées "rio-bomba" en espagnol sont des systèmes ressemblant à des moulins couplés à une pompe à pistons. Une roue hydraulique de grande taille (à peine plus petite que le saut hydraulique disponible) entraîne la pompe a déplacement positif.

La roue permet de transformer l'énergie cinétique de l'eau circulant dans le ruisseau, mais c'est surtout l'énergie potentielle de cette eau qui actionne la roue. Le poids de l'eau stockée exerce une force faisant tourner la roue, qui est directement couplée à la pompe. L'énergie mécanique de la roue est transmise à la pompe pour être transformée en énergie potentielle par l'élévation de l'eau.



**Ilustración 10 : Roue à aube à alimentation supérieure conçue au sein du GEA**

Cette solution alternative est intéressante dans les cas où la pente est très faible, et ne permet pas d'utiliser un bélier hydraulique ou une turbopompe. C'est donc quand la hauteur de chute de l'eau est très limitée que cette solution est la plus recommandée.

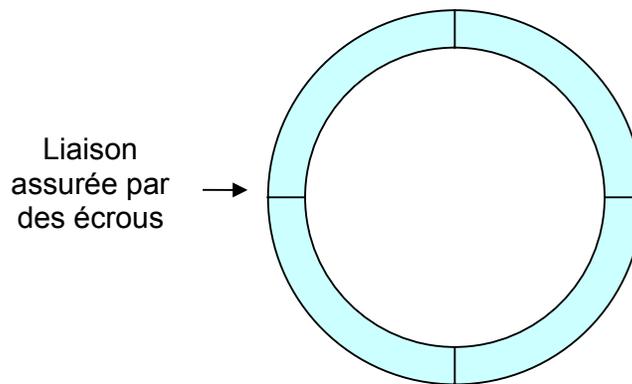
Mais ce genre de système peut être assez encombrant. Plus la roue est grande et plus le couple développé par le système est élevé. On a donc intérêt à avoir une roue la plus grande possible pour que la force soit la plus forte. Il se pose le problème du transport dans le cas où ce système doit être emmené dans un lieu où il n'y a pas de route, reculé dans la montagne.

Nous verrons l'application pour un projet dans la région 7 au centre du Chili.

*Des améliorations pour une roue plus grande et plus facilement transportable*

L'idée est de fabriquer une roue pour des hauteurs de chute plus grandes afin de disposer d'un plus grand couple pour actionner la pompe. La plus grande réalisée au sein du GEA n'était que de 1,5 mètre. Pour profiter de la plus grande hauteur possible, l'alimentation se fait par dessus pour exploiter une hauteur de chute la plus grande possible.

Le rendement global attendu d'une roue hydraulique est de l'ordre de 30%, et nous verrons celui de la roue développée au sein du GEA. La construction d'une roue de plus grande taille permet de savoir si ce rendement reste convenable lorsque le système devient plus grand.



**Illustración 11 : Roue divisée en 4 sections**

La roue a été divisée en 4 parties, qui doivent être assemblées sur place. Le système d'assemblage doit être suffisamment simple pour pouvoir être monté facilement sur le site.

Rappelons que dans le cas de systèmes hydrauliques, la rivière peut se trouver dans un endroit difficile d'accès. C'est pourquoi la simplification des systèmes développés est un thème important pour les énergies renouvelables.

Enfin l'aspect économique est également important pour permettre le développement de tous les systèmes utilisant des énergies renouvelables dans

les pays en voie de développement. Les matériaux doivent pouvoir être faciles à travailler, et trouvables sur place à un coût faible.

*Les systèmes hydrauliques sont les plus intéressants économiquement face aux autres systèmes de pompage*

### **Conception de la roue hydraulique**

Nous allons voir maintenant toutes les étapes pour la fabrication de ce système dans le cas d'un projet pour le village de Polcura

- *Application dans la commune de Polcura (région VII) :*

Hauteur de chute	2,5 m	
Débit	5 l/s	
Hauteur de pompage	200 m	
Distance de pompage	1000 m	
Quantité d'eau pompée théorique	1963,636	l/jour
Puissance hydraulique	122,625	W

La hauteur disponible est d'environ 3 mètres, mais nous considérerons un saut de 2,5 mètres pour dimensionner la roue. Les mesures de débit ont été faites pendant le mois de mars 2004, qui est le mois le plus sec dans cette région. On peut donc considérer un débit minimum de 5 litres par seconde.

Le village alimenté est situé en hauteur de la rivière, sur une colline à environ 200 mètres plus haut. C'est une hauteur de pompage très importante, avec une distance d'environ 1 kilomètre. Pour prendre en compte les pertes dues à la distance, on peut considérer un surplus de 2% de la distance de pompage pour la hauteur de pompage.

La hauteur de pompage considérée est donc de :

200 mètres + 2% de 1000 mètres = 220 mètres

- *Choix de la roue hydraulique face aux autres solutions*

Avec un débit de 5 l/s et une hauteur de chute faible de 2,5 mètres, le choix est porté sur une roue hydraulique. De plus l'eau doit être pompée à une grande hauteur nette de 220 mètres, ce qui empêche l'utilisation de bélier hydraulique.

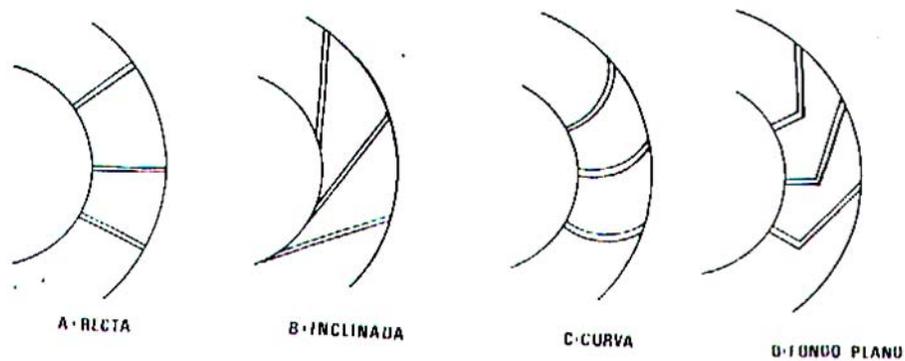
La puissance développée est assez faible, de 122 W, mais tout l'intérêt par rapport aux autres énergies renouvelables est de fonctionner 24h/24, quelque soit le climat. Les systèmes solaires et éoliens sont souvent dimensionnés pour une puissance bien supérieure, car ils ne peuvent fonctionner qu'en présence de soleil ou de vent.

- *Calculs pour connaître les dimensions des aubes*

*Notations :*

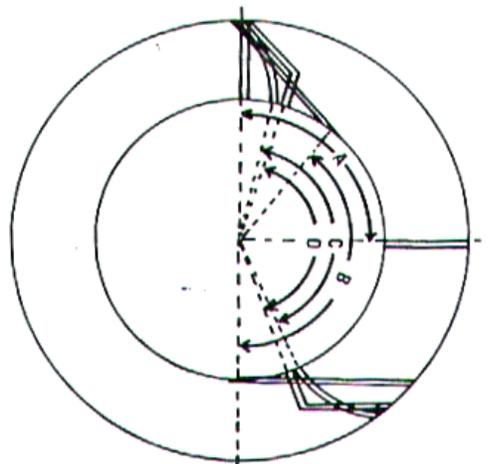
$\alpha$             l'angle de l'aube  
Re / Ri        le rayon extérieur / intérieur  
a                la longueur du fond de l'aube

. Il existe quatre formes générales pour une aube, elles peuvent être droites (recta : A), inclinées (inclinada: B), courbées (curva: C) ou à fond plat (fondo plano: D).



**Ilustración 12 : Les différents types d'aubes**

Chaque type d'aube a un remplissage différent, et donc une efficacité différente. Les anciens moulins utilisent des technologies avec des aubes inclinées ou plates, mais les plus efficaces sont les deux dernières (C et D).

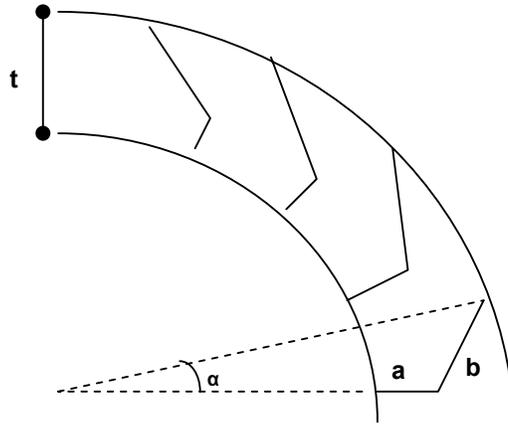


**Ilustración 13 : zones de remplissage dans la roue selon le type d'aube**

Comme on peut le voir sur le schéma ci-dessus, pour les aubes C et D, la zone utile de remplissage est centrée sur l'horizontale, c'est-à-dire qu'en moyenne l'eau est conservée dans la roue au niveau de l'horizontale. Or le remplissage doit s'effectuer de façon à ce que le centre de gravité de l'eau soit le plus éloigné de l'axe possible, afin que le couple soit le plus grand possible.

L'eau stockée par la roue exerce une force dépendante de la quantité d'eau stockée, il est donc nécessaire d'optimiser le remplissage du moulin.

En suivant les recommandations de LIVRE HYDRO, l'angle intérieur interne est souvent de  $115^\circ$  pour une aube. Sur le schéma suivant on peut voir un quart de roue.



**Ilustración 14 : Coupe d'un quart de roue hydraulique**

Le fond d'une aube y est noté **a**, et peut varier entre  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{1}{2}$  l'épaisseur **t** de la roue.

Le diamètre de la roue est choisi égal à 0.9 fois le saut disponible pour conserver un peu de jeu par sécurité pour installer la tuyauterie d'alimentation.

## **Fabrication de la roue hydraulique :**

### *Le matériel nécessaire*

La fabrication de la roue s'est effectuée dans l'atelier d'hydraulique et thermodynamique de l'université. La fabrication a nécessité :

- l'utilisation d'une machine pour souder les différentes parties en acier du système
- l'utilisation d'un tour pour travailler l'axe
- un étau
- une scie à disque, dangereuse et très difficile à utiliser
- divers outils généralement utilisés en mécanique, comme des clés anglaises, une clé française (bien utile car s'adaptant à plusieurs diamètres d'écrous), un pied mesureur, un té (pour les mesures d'angles droit), des limes pour poncer, une scie à dents (manuelle)
- des pinces, et un rouleau pour peindre la structure
- une perceuse portative ainsi qu'une perceuse fixe.

Pour les matières premières, nous nous sommes essentiellement servis de profilés d'acier : 4 profilés en L de 5 cm de côté et 5 mm d'épaisseur faisant 6 mètres de long chacun ont été achetés, afin d'avoir 24 mètres de profilé au total.

- Fabrication de la roue :

La roue en elle-même, a été demandée à fabriquer dans Valparaiso chez un métallurgiste, car ce travail demande un certain savoir faire car l'épaisseur de 1 mm est difficile à travailler notamment pour les soudures.

En effet pour un soudeur peu expérimenté, travailler avec des épaisseurs fines s'avère périlleux, et il est très facile de trouer la structure en chauffant trop les plaques d'acier.

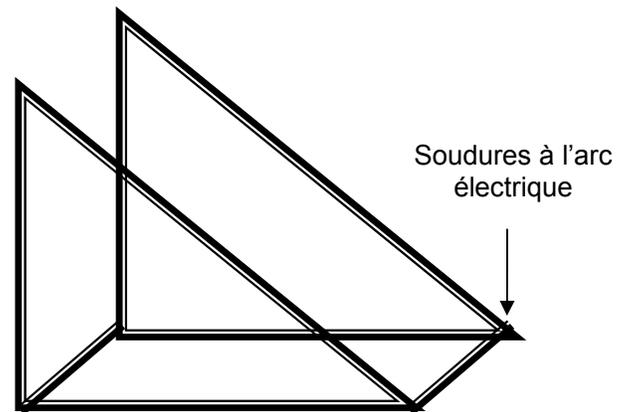
La roue est en acier galvanisé.

- La fabrication du support :

Le choix a été porté sur une forme triangulaire en angle droit pour plus de simplicité, et une stabilité suffisante. Les deux triangles supportent les roulements à bille avec des écrous.

Ils sont fixés en bas par deux petits profilés comme on peut voir sur le schéma.

Une scie à dent manuelle, du matériel de soudure (arc électrique) et une perceuse seront nécessaires. Un té de grande taille sera également utile pour s'assurer que les angles sont bien droits.



**Illustración 15 : Support triangulaire de la roue**

Tout d'abord il faut couper les profilés aux bonnes longueurs. Une scie manuelle est suffisante même si cela peut être un peu fatiguant de couper des profilés épais à la main. L'intérêt est de ne nécessiter que peu d'outils. Nous nous sommes servis à l'atelier également de scie à disque pour aller plus vite.

Mais l'utilisation de la scie à disque est dangereuse, et plusieurs fois, malgré la manipulation par un ouvrier qualifié, nous sommes passés près d'un incident. Le disque tranchant peut s'emballer, et l'utilisateur perd le contrôle de la scie.



Il est alors préférable de perforer les profilés avant de les souder pour plus de facilité. La perceuse fixe permet de travailler facilement car il est assez fatiguant de travailler avec une perceuse portative. Il n'est pas toujours évident de perforer de l'acier si on n'a pas une bonne position, et la mèche doit être souvent aiguisée.

Il faut ensuite souder les profilés. C'est l'étape qui demande l'utilisation du matériel le plus difficile à trouver dans des zones reculées. Nous avons utilisé des soudures à l'arc, mais une machine à souder demande un ampérage élevé (de l'ordre de 10 ampères) qu'il ne doit pas être évident de trouver dans n'importe quel village.

Le support est entièrement en acier, et plutôt lourd, mais cela permet une bonne stabilité. La fixation au sol est assurée simplement par des écrous (8 au total). Les deux roulements à billes sont fixés par 2 écrous, avec du jeu pour pouvoir ajuster la roue pour qu'elle soit bien droite.

- Travail de l'axe :

Un axe en acier de 40 mm de diamètre a été acheté, mais il doit être travaillé pour le rendre utilisable, et s'assurer qu'il est bien droit et du diamètre nécessaire pour l'ajuster avec les roulements à billes.

Nous avons choisi des roulements à bille chez Ducasse, spécialiste de roulements à billes à Valparaiso.

L'axe doit être travaillé avec un tour, à vitesse moyenne (500 tours/minutes), pour ne pas surchauffer les outils. Une fois le diamètre correctement ajusté avec les roulements à bille, il faut travailler également le Buje, dans lequel passe l'axe, et sur lequel seront soudés les bras de la roue.

Il faut alors ajuster le buje à l'axe, pour qu'ils coïncident bien. Pour empêcher la rotation, deux vis à 90° traversent à la fois l'axe et le buje pour les figer.



Ilustración 16 : Travail de l'axe avec un tour

- Union entre l'axe et la roue :

Cette étape est la plus délicate car il faut faire preuve de précision pour que la roue soit bien équilibrée. Le moyen le plus simple est de placer la roue sur le sol, mais encore faut il disposer d'une zone qui soit bien plane.

Ensuite il faut trouver son centre, en traçant et mesurant à la craie les diamètres (photo à droite).

Il faut tracer sur la roue là où seront fixés les rayons, puis placer le buje au centre en le surélevant pour être bien centré.





Il faut alors au moins deux personnes, une pour faire la soudure et l'autre tenir le rayon à la bonne hauteur. Au début, la soudure est faite seulement pour maintenir la pièce avec juste 2 ou 3 points de soudure. De cette façon, il suffit de quelques petits coups de marteaux pour enlever la pièce lorsque le centrage n'est pas très bien fait.

La fixation des rayons à la roue est simplement faite avec deux écrous par bras. Une petite latte est ajoutée de l'autre côté de la fixation pour que les efforts sollicitent moins la roue en cas de choc.

- Assemblage et équilibrage de la roue :

La roue est alors levée, l'axe passé dans les roulements à bille et au centre de la roue. Il faut être au moins 2 personnes, une pour lever la roue et l'autre pour passer l'axe. La roue doit alors être bien équilibrée, pour qu'elle ne touche pas le support en tournant. Une fois qu'elle est bien droite, les rayons sont perforés en même temps que la roue puis les écrous sont passés au travers.



**Illustración 17 : Nouvelle roue hydraulique de 2,25m de diamètre pour le projet**

- Support de la pompe

La pompe est posée sur un carré fait avec des profilés d'acier, qui tient grâce à une traverse en diagonale prenant appui sur le support. Ce support est fixé sommairement avec quelques points de soudure, et afin de s'assurer qu'il est bien droit on peut utiliser un niveau à bulle d'air. Lorsque la bulle d'air est bien centrée, le support est bien horizontal. Il faut être deux pour faire cela, car la pompe est lourde (plus de 6 kilos), et il faut que quelqu'un tienne tout pendant que l'autre ajuste et soude.

- Finitions et peinture

Il faut alors poncer les zones de soudure, et laver la surface avant d'enduire les parties en acier avec deux couches d'anti-corrosif. Il faut bien appliquer de l'anticorrosif sur toutes les parties, même celles sont visibles, pour protéger le mieux possible la structure. L'anticorrosif sèche rapidement, et on peut donc appliquer la seconde couche une heure après la première.

Par contre il faut laisser sécher au moins 16 heures avant de passer la couche de peinture (cela peut dépendre du produit utilisés mais cela reste un ordre de grandeur). Le lendemain on peut alors appliquer la peinture, et il faut laisser une journée encore avant que la roue puisse être manipulée.



**Ilustración 18 : La roue peinte aux couleurs du Chili et de la France**

- Assemblage final pour tester le système

Il faut unir la pompe à l'axe, grâce à un manchon d'accouplement. Il est soudé à l'axe, puis il faut assembler le tout. La rotation est empêchée par deux boulons et il faut donc percer l'axe (seulement en surface).

### **Aspect économique:**

Un des objectifs est de produire un système qui soit adapté au marché local, c'est-à-dire utilisant des matériaux faciles à trouver, et des moyens de fabrication rustiques ne demandant pas un usinage trop complexe.

Le choix principal était porté tout d'abord sur le matériau pour fabriquer la roue. Le bois est peu approprié car avec l'humidité il demande trop d'entretien et s'avère peu robuste.

Le dilemme était de choisir entre l'acier et l'aluminium. L'intérêt de l'aluminium est sa légèreté qui permet de pouvoir le transporter facilement et l'amener dans des zones d'accès difficile dans les montagnes. Mais il est plus complexe à travailler, car on ne peut pas le souder à de l'acier.

Nous avons opté pour une roue en acier galvanisée, très fine puisque de seulement 1mm d'épaisseur, avec un support en profilés d'acier de 5mm d'épaisseur.

La roue est facilement transportable, car divisée en 4 parties elle ne prend pas beaucoup de place. Par contre le support est assez lourd, mais une personne seule peut le soulever aisément.

	Nombre	Coût unitaire	Total (en Pesos Chiliens)
Roulement à bille NP 40 Cooper	2	7'266	14'500
Axe en acier de 45mm de diamètre	1	10'000	10'000
Buje	1	6'000	6'000
Roue de 2,25m de diamètre	1	280'000	280'000
profilés d'acier 50*50*5mm de 6m	4	14'000	56'000
Pompe à déplacement positif	1	145'000	145'000
Manchon d'accouplement	1	26'000	26'000
		Total	

**Ilustración 19 : Tableau des couts de fabrication du système**

## Tests dans l'atelier

Une fois la roue achevée, nous avons voulu vérifier son rendement afin de connaître mieux le comportement d'une roue hydraulique. Nous avons donc pu constater les différences entre la théorie et le système fabriqué.

Il y a dans le laboratoire de l'université un endroit où peuvent être testés divers systèmes hydrauliques, pompes, turbines ... L'équipement permet de disposer de conduites d'alimentations, avec le matériel pour connaître le débit d'entrée.

L'expérience a consisté à faire varier le débit d'eau entrant dans la roue, de 1 à 17 litres par seconde. Nous avons pu voir comment évoluait la vitesse de rotation, ainsi que le débit de pompage pour une hauteur faible de seulement 2 mètres.

Ensuite nous avons placé une vanne de pression réglable, simulant la pression due à la hauteur de pompage. En effet 1 bar de pression équivaut à la pression d'une colonne d'eau de 10 mètres.

Nous avons fait varier cette pression pour simuler le pompage de 10 à 200 mètres. Cela nous a permis de voir l'influence de la hauteur de pompage sur le rendement du système.



Illustración 20 : Derniers réglages avant de tester la roue

*Problème durant l'expérience :*

Nous avons rencontrés quelques problèmes car installer une roue hydraulique de plus de 2 mètres pose quelques problèmes.

La pompe ne semblait pas fonctionner correctement car la pression de montait pas dans la sortie. La pompe est unidirectionnelle mais apparemment la vanne empêchant le retour de l'eau ne fonctionnait pas bien. Après quelques essais nous avons pu corriger ce problème.

La soudure de l'axe et du manchon d'accouplement n'était pas suffisamment solide et les deux se sont désolidarisés au cours de l'expérience, il a alors fallu ressortir l'axe, et refaire la soudure pour qu'elle soit plus profonde. En effet la soudure utilisée en fer fondu n'était pas adaptée, et en changeant pour une soudure d'acier tout s'est alors bien passé.

*Les résultats obtenus :*

Les précédentes expériences pour le pompage hydraulique ont permit de faire cette table de rendements pour un saut hydraulique allant de 1 à 2 mètres.

Saut hydraulique [m]	Hauteur de Pompage [m]	Débit de fonctionnement [l/s]	1	5	10	30	45
		Rendement Río-bomba [litres/jour]					
1	10		4320	21600	43200	129600	194400
1	30		1400	7200	14400	43200	64800
1	70		617	3085	6200	18500	27700
1	100		432	2160	4320	13000	19440
1	200		216	1080	2160	6500	9720
1,5	10		6480	32400	64800	194400	291600
1,5	30		2160	10800	21600	64800	97200
1,5	70		925	4630	9530	27800	42000
1,5	100		648	3240	6480	19500	30000
1,5	200		324	1620	3240	10000	14600
2	10		9936	50000	99500	300000	447120

2	30		3312	16600	33120	100000	150000
2	70		1419	7100	15000	42600	63800
2	100		1000	5000	10000	30000	44100
2	200		500	2500	5000	15000	22400

## Conclusion

Souvent des systèmes complexes et polluants sont utilisés quand il existe des solutions simples et économiques.

Dans le cas du pompage d'eau, comme nous l'avons vu il existe des alternatives au moteur, qu'il soit électrique ou au diesel.

Les systèmes hydrauliques sont peu coûteux et faciles à fabriquer. Les matériaux peuvent être trouvés dans n'importe quel pays. Ils fonctionnent 24h/24, avec un entretien limité. Même si la puissance est souvent assez limitée, ce sont des solutions intéressante pour des endroits reculés, où il n'y a pas d'électricité.

## Conception d'un bélier hydraulique

Comme nous avons pu le voir, le GEA a participé à la fabrication de plusieurs modèles de bélier hydraulique, qui sont une excellente manière de pomper l'eau à moindre frais. Nous allons voir les différentes caractéristiques de ceux fabriqués ainsi que l'installation de tels systèmes.

Les performances d'un bélier hydraulique dépendent évidemment du débit de la source, de la dénivellation entre la source et le bélier (hauteur de chute), de la dénivellation entre le bélier et le réservoir (hauteur de refoulement)...

Il faut savoir que le rendement est d'environ de 70 pour cent, et qu'il existe une formule simple pour calculer le volume d'eau amené au réservoir.

$$q = \frac{h \times Q}{h + H} \times 0,70$$

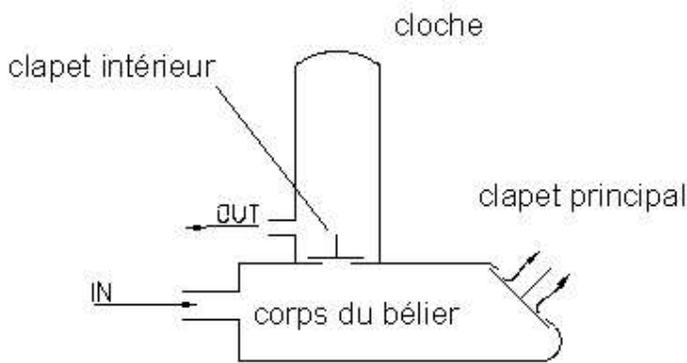
q (quantité d'eau refoulée), h (hauteur de chute), H (hauteur de refoulement), Q (débit de la source), 0,70 (rendement)

## Qu'est-ce qu'un bélier hydraulique ?

Le bélier hydraulique est une pompe automatique fonctionnant à l'eau, c'est-à-dire sans apport d'énergie extérieure. Il utilise l'énergie d'une chute d'eau pour relever une partie de cette eau à une hauteur supérieure à la hauteur de chute.

## Comment est-il constitué ?

Le circuit hydraulique est composé d'une conduite motrice reliant la source au bélier, du bélier lui-même et d'une conduite d'alimentation reliant le bélier au réservoir d'utilisation.



Le bélière lui-même est constitué d'un corps principal fermé par un clapet taré et d'un réservoir étanche (cloche) relié au corps par un autre clapet également taré et connecté à la conduite d'alimentation.

Avant de transférer toutes les données à notre partenaire haïtien, nous avons d'abord réalisé et testé nous même un modèle de chaque type de bélière et, à travers cette expérience, nous avons pu compléter pour eux toutes les informations reçues de la firme Schlumpf et réaliser une documentation complète.

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à la firme Schlumpf pour sa précieuse collaboration. Nous pensons que de telles collaborations sont essentielles pour le développement des pays du Sud. Pour Codéart, notre rôle essentiel est de créer, comme dans ce projet, les liens entre ceux qui détiennent le savoir-faire et ceux qui demandent des solutions adaptées répondant à leurs besoins de base.

## Réalisation d'un bélière hydraulique.

### Comment fonctionne-t-il ?

Dans un premier temps, le clapet intérieur du réservoir est fermé et le clapet du corps principal est ouvert. L'eau en provenance de la source s'écoule librement à travers la conduite motrice et le corps du bélière en prenant de la vitesse et en s'échappant par le clapet principal. A un moment donné, grâce à la vitesse acquise, le clapet principal se ferme brusquement en provoquant "un coup de bélière", phénomène bien connu qui, en d'autres lieux, peut avoir des effets dévastateurs. Ici, ce coup de bélière va provoquer l'ouverture du clapet intérieur et l'eau va pénétrer dans la cloche en comprimant l'air intérieur qui va, par la pression acquise, pousser l'eau dans la conduite d'alimentation à laquelle la cloche est reliée. L'eau, dans la conduite motrice et dans le corps du bélière va progressivement ralentir et finalement s'arrêter permettant l'ouverture du clapet principal tandis que le clapet intérieur de la cloche retombe sur son siège. L'eau va recommencer à s'écouler à travers le corps du bélière et le clapet principal en position ouverte jusqu'à acquérir à nouveau une certaine vitesse suffisante pour refermer à nouveau le clapet

principal et provoquer un nouveau "coup de bélier"; Et ainsi de suite, plusieurs fois par minute, 24 H sur 24 H, 365 jours par an et année après année sans pratiquement d'entretien.

## **Quelles sont les performances d'un bélier hydraulique ?**

Les performances d'un bélier dépendent essentiellement de la capacité de la source. Différents modèles de béliers existent; de capacités différentes, ils peuvent être adaptés aux performances de la source. D'une manière générale, on peut dire que le rapport entre la hauteur de chute et la hauteur de remontée est inversement proportionnel au rapport entre la quantité d'eau prélevée à la source et la quantité d'eau remontée, au rendement près. Ce rendement est d'environ 70 %. Autrement dit, on peut par exemple dire que, si on dispose d'une source ayant une capacité de 30 l/min et une chute de 10 m, on pourra relever à 30 m une quantité d'eau de  $10 \text{ l} \times 70\%$  ou 7 litres d'eau par minute.

Il existe des béliers adaptés à des sources d'une capacité de quelques litres/min à près  $0.5 \text{ m}^3/\text{minute}$  et la hauteur de remontée peut dépasser les 100 m.

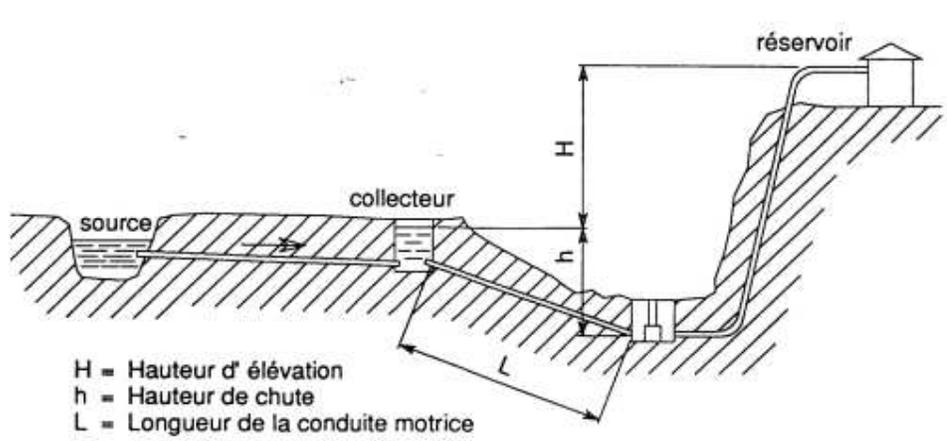
## **Comment choisir un bélier ?**

Le choix d'un modèle de bélier repose essentiellement soit sur le débit possible de la source ou du ruisseau, soit du besoin à l'utilisation.

### **Exemples :**

- Si une source à un débit de 30 l/min et si une quantité aussi grande que possible doit être pompée 20 m plus haut, la capacité du bélier à choisir correspondra au débit de la source, soit 30 l/min.
- Si, par contre, on dispose d'une source de 150 l/min mais que le but est de transférer plus haut seulement 5 l/min, un bélier d'une capacité de 150 l/min n'est pas nécessaire, un bélier passablement plus petit suffira.

## **Calcul d'un bélier**



Si Q est la quantité d'eau débitée par la source ou le ruisseau, la quantité q d'eau remontée vers le réservoir d'utilisation, est calculée par la formule :

$$q = \frac{h \times Q}{h + H} \times 0.70 \text{ où } 0.70 \text{ représente le rendement du béliet}$$

La longueur de la conduite motrice doit être comprise, environ, entre 3 à 5 fois la hauteur de chute; donc :

$$L = 3 \text{ à } 5 \times h$$

### Exemple 1 :

Une source à un débit de 30 l/min dont une partie la plus grande possible doit être pompée 20 m plus haut.

Si la hauteur de chute h est de 3 m, la quantité d'eau remontée sera de :

$$\left\{ \frac{3 \times 30}{3+20} \right\} \times 0.70 = 2.7 \text{ l/min ou } 3.88 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Si la hauteur h de chute est de 20 m, la quantité d'eau remontée sera de :

$$\left\{ \frac{20 \times 30}{20+20} \right\} \times 0.70 = 10.5 \text{ l/min ou } 15.12 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Dans le premier cas, la longueur de la conduite motrice devra être de 9 à 15 m tandis que dans le second cas, elle devra atteindre 60 à 100 m.

### Exemple 2 :

Une source à un débit de 150 l/min dont 5 l/min doivent être pompés 50 m plus haut. La hauteur de chute possible sur le bélier est de 10 m. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de choisir un bélier d'une capacité de 150 m/min mais de seulement :

$$Q = \{(h + H) \times q\} / (h \times 0.70) = \{(10 + 50) \times 5\} / (10 \times 0.70) = 43 \text{ l/min}$$

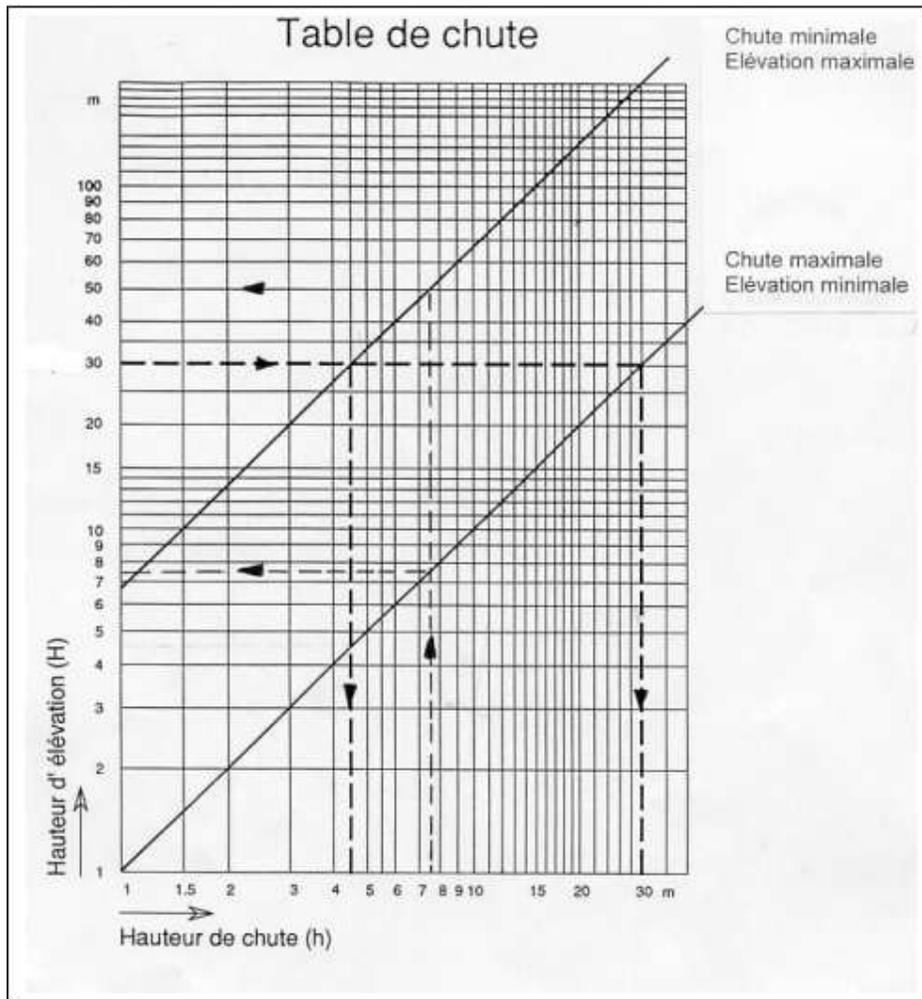
Note : 1 l/min correspond à environ 1.5 m<sup>3</sup>/jour !

## **Diagramme des chutes**

Le diagramme suivant montre les hauteurs de chutes minimales et maximales qui correspondent à une hauteur d'élévation donnée ou, inversement, les hauteurs d'élévation minimales et maximales pour une hauteur de chute donnée.

Exemple : si la hauteur H d'élévation est 30 m, la hauteur h de chute doit être comprise entre 4.5 et 30 m

Si la hauteur de chute est de 7.5 m, les hauteurs d'élévation possibles seront comprises entre 7.5 et 50 m

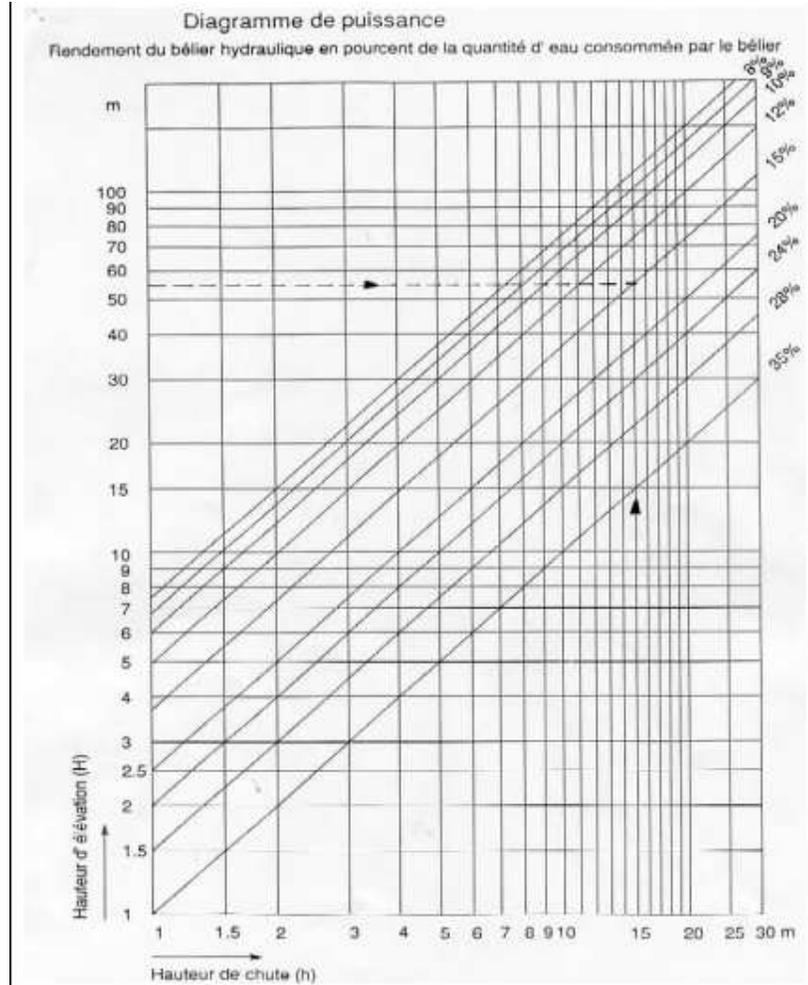
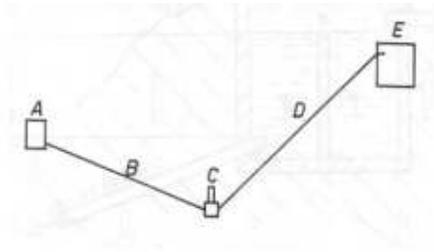


## Diagramme des puissances

Ce diagramme permet d'établir facilement le rapport (en %) entre débit de la source et débit de sortie du béliet pour des hauteurs de chute  $h$  et d'élévation  $H$  données.

Exemple : si l'on dispose d'une source de 50 l/min et d'une chute de 15 m, la quantité d'eau qu'on pourra relever à 55 m sera de 15 %, soit 4.5 l/min ou 6.5 m<sup>3</sup>/jour

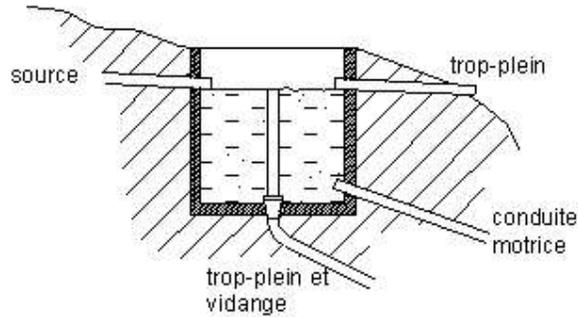
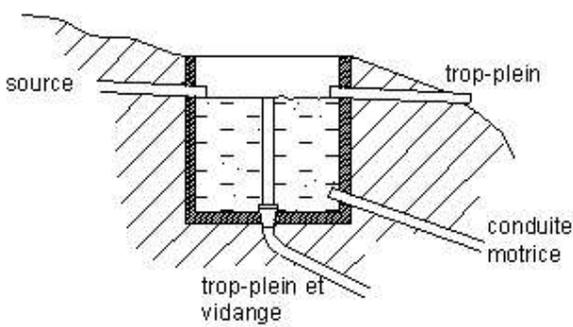
ou inversement, si l'on veut disposer de 3 m<sup>3</sup>/jour dans le même cas de figure, il faudra disposer d'une source d'une capacité d'environ 15 l/min et du modèle de béliet correspondant.



## Installation d'un bélier

### L'installation type :

L'installation type comprend un collecteur (A) qui recueille l'eau de la source ou du ruisseau, la conduite motrice (ou de batterie) (B) amenant l'eau au bélier, le bélier proprement dit (C), la conduite d'alimentation (ou de refoulement) (D) amenant l'eau du bélier au lieu d'utilisation et enfin le réservoir (E) qui recueille l'eau pompée par le bélier sur le lieu d'utilisation.



### **Le collecteur :**

Le collecteur peut avoir n'importe quelle grandeur, par exemple un tuyau de ciment de diamètre de 0.6 à 1 m. Toutefois, la conduite motrice doit toujours être suffisamment couverte d'eau, au moins 30 à 40 cm d'eau. La quantité excédentaire d'eau (différence entre le débit de la source et le débit moyen de la conduite motrice) sera évacuée par un dispositif de trop plein.

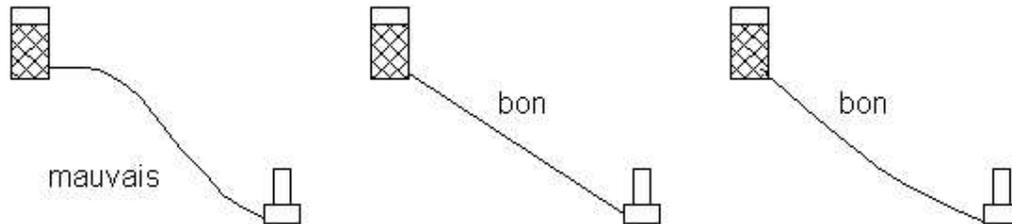
Idéalement, le collecteur doit être construit de manière à ce que les bulles d'air amenées par l'eau débouchant de la source dans le collecteur n'atteignent jamais la conduite motrice : de l'air dans la conduite motrice perturberait le bon fonctionnement du bélier. Dans ce but, on peut, par exemple, séparer le collecteur en deux chambres par une cloison centrale de hauteur légèrement inférieure à la hauteur du tuyau d'arrivée pour que l'eau ne reflue pas dans ce tuyau, mais pas trop basse pour que le passage de l'eau d'une chambre à l'autre ne provoque pas de nouveaux remous et donc une nouvelle formation de bulles d'air.

Le trop plein d'évacuation sera également prévu au même niveau que la cloison de séparation. Pour éviter que des déchets importants ne passent dans la conduite motrice, le départ de celle-ci sera placé quelques centimètres au-dessus du fond du collecteur qui sera régulièrement nettoyé (par exemple en combinant un système de trop plein avec une conduite de vidange).

### **La conduite motrice :**

conduite qui relie la source au bélier. Son diamètre dépend du type de bélier utilisé; dans le cadre des béliers développés dans le cadre de ce projet, les diamètres des conduites motrices varient de  $\frac{3}{4}$  à  $1\frac{1}{2}$  " suivant le modèle du bélier. Ces diamètres peuvent être avantageusement augmentés dans la partie supérieure de la conduite pour être réduits dans leur partie inférieure au diamètre correspondant au modèle de bélier utilisé.

La longueur de la conduite motrice est importante pour un bon fonctionnement de l'installation; elle dépend de la hauteur de chute et doit se situer entre 3 et 5 fois cette hauteur. Exemple : si la hauteur de chute est de 10 m, la longueur de conduite motrice doit être comprise entre 30 et 50 m.



La conduite motrice devant résister aux "coups de bélier" il est indispensable qu'elle soit réalisée en matériaux rigides tels que tuyaux d'acier ou de fonte. Les tuyaux en matière plastique sont à proscrire pour cet usage à cause de leur élasticité.

De même, la conduite motrice doit être réalisée avec le plus grand soin, elle doit être parfaitement étanche sous peine d'entraîner des dysfonctionnements du bélier. Des manchons union à joints plats ne sont pas adaptés à la réalisation d'une conduite motrice.

La conduite motrice doit avoir une pente régulière, éventuellement avoir une pente plus forte dans sa partie supérieure pour arriver au bélier avec une pente plus faible, jamais l'inverse. Il faut éviter pour sa construction des courbes et des coudes. Si une courbe latérale ne peut être évitée, il faut la réaliser avec le plus grand rayon de courbure possible.

Il est conseillé de ne pas combler les fossés éventuellement creusés pour enfouir la conduite motrice avant d'avoir vérifié le bon fonctionnement du bélier.

### **Le bélier hydraulique :**

La conduite motrice est connectée au bélier par l'intermédiaire de brides.

Le modèle de bélier dépend de la quantité d'eau disponible à la source ou au ruisseau ou de la quantité d'eau que l'on veut remonter.

Pour fonctionner, le bélier a besoin "d'aspirer" régulièrement une petite quantité d'air qui compense dans la cloche l'air entraîné par l'eau vers la conduite d'alimentation. Dans les béliers Schlumpf, cet apport d'air est réalisé automatiquement par une rainure en liaison

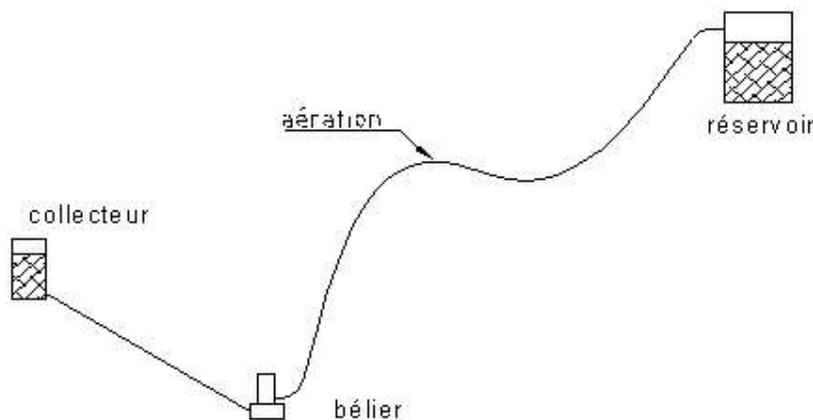
avec le clapet principal; aucune soupape supplémentaire n'est nécessaire.

Le bélier peut travailler à l'air libre. Il est toutefois recommandé de le placer dans une chambre fermée pour le protéger de toute manipulation par des personnes non autorisées. Une partie seulement de l'eau étant remontée par la conduite d'alimentation, Il est donc indispensable que le surplus d'eau puisse s'écouler librement de cette chambre pour retourner, en aval, au ruisseau.

### La conduite d'alimentation :

La conduite d'alimentation est celle qui relie la sortie du bélier avec le réservoir d'alimentation, à l'utilisation. Le diamètre de cette conduite dépend du modèle de bélier. Dans le cas présent, il peut être d'un diamètre de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  ou 1".

La conduite d'alimentation doit idéalement ne pas avoir de contre-pente. Dans le cas où cette condition est impossible à respecter, des possibilités d'aération sont à prévoir sur les "points hauts".



La conduite d'alimentation peut être réalisée en tuyaux plastiques; ceux-ci doivent cependant être adaptés à la pression à laquelle ils doivent pouvoir résister et qui dépend de la hauteur de remontée (1 kg/cm<sup>2</sup> par 10 m de remontée).

Le réservoir d'alimentation :

Le réservoir d'alimentation sera construit idéalement au-dessus de la zone d'utilisation de manière à permettre un écoulement par gravité vers le lieu d'utilisation sous une certaine pression. Cette disposition

permet un écoulement régulier et si nécessaire une réserve peut être ainsi créée pour couvrir les besoins plus importants.

L'entrée de la conduite d'alimentation dans le réservoir doit se faire au-dessus du niveau d'eau maximum de manière à toujours permettre un écoulement libre du conduit d'alimentation et de pouvoir ainsi vérifier le débit; un système de trop-plein limitant le niveau d'eau dans le réservoir doit donc être prévu juste en dessous du niveau d'arrivée du conduit d'alimentation.

De plus, pour maintenir une bonne circulation et une bonne fraîcheur de l'eau utilisée, la prise d'eau de consommation se fera en face de la sortie de la conduite d'alimentation.

**Divers :**

Des vannes d'arrêt à bille seront placées à l'entrée et à la sortie du bélier pour permettre son isolement et un démontage facile.

Un robinet de vidange sera également placé sur le départ de la conduite d'alimentation pour permettre, si nécessaire, sa vidange et donc la mise à pression atmosphérique de la conduite en cas d'intervention nécessaire.

## Bibliographie

Site perso, bomba de ariete

<http://www.onpeutlefaire.com/fichestechniques/ft-pompe-belier.php>

[http://www.codeart.org/technique/eau/belier\\_hydraulique/belier\\_hydraulique\\_fr.htm](http://www.codeart.org/technique/eau/belier_hydraulique/belier_hydraulique_fr.htm)

<http://www.lino.com/~sylvain/index.html>

fabricant belier:

<http://membres.lycos.fr/hervedebaillenx/belier.htm>

Site anglais pour trouver des liens pas mal:

[http://journeytoforever.org/at\\_waterpump.html](http://journeytoforever.org/at_waterpump.html)